

## ხმოვანი რადიომაუწყებლობის სერვისიდან (87.5-108 MHz) გენერირებული ინტერმოდულაციური სიგნალების ზემოქმედების გავლენის კვლევა საჰაერო ხომალდის აერონავტიკულ ILS რადიოსანავიგაციო მიმღებზე

თ. ქორთუა<sup>1</sup>, რ. კუჭუხიძე<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი,  
ქეთევან დედოფლის გამზირი №16, 0103 თბილისი

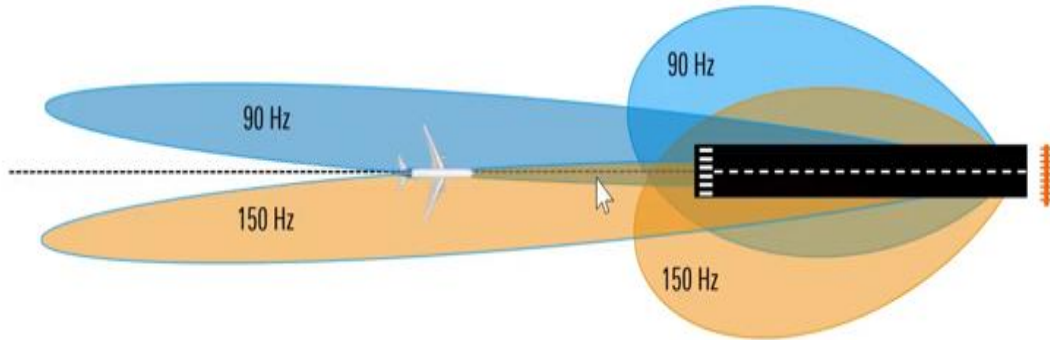
**რეზიუმე:** ჩვენი კვლევა ეფუძნება სატესტო პროცედურებს საავიაციო მიმღების მახასიათებლების გასაზომად, რომლებიც გამოიყენება ინტერმოდულაციური დამახინჯების დასადგენად, ისინი გენერირდება სამაუწყებლო რადიო გადამცემებიდან სიხშირულ დიაპაზონში 87-108 MHz და წარმოქმნის ელექტრომაგნიტურ ხელშეშლებს, ეს ხელშეშლები ზემოქმედებს აერონავტიკულ სერვისებზე 108-118 MHz რადიოსიხშირულ ზოლში. გაანალიზებულია თუ როგორ გავლენას ახდენს ამ სისტემებზე ელექტრომაგნიტური ხელშეშლები, რომლებიც გენერირდება სხვადასხვა წყაროებიდან, მათ შორის FM სამაუწყებლო რადიოსერვისიდან. ეს ხელშეშლები, ქმნიან ინტერმოდულაციურ პროდუქტს ILS - ის (108-112 MHz) სიხშირულ ზოლში, მესამე რიგის ინტერმოდულაციური დამახინჯების სახით, რომელმაც აღნიშნულ სიხშირულ ზოლში შეიძლება გამოიწვიოს სანავიგაციო მიმღებში ცრუ გადახრის სიგნალი. ამ ვითარებაში თვითმფრინავმა შესაძლოა მიიღოს არასწორი სახელმძღვანელო სიგნალები, რაც პილოტს აფიქრებინებს, რომ ხომალდი მდებარეობს მარცხნივ ან მარჯვნივ დასაფრენი ზოლის ცენტრალური ხაზიდან. ამ კატეგორიის სიგნალების მიღებამ შეიძლება შეცდომით მონიშნოს კურსის გადახრა ან გამოიწვიოს სიგნალის სრული დაკარგვა რაც გამოიწვევს დასაფრენ ზოლთან მიმართებაში თვითმფრინავის დეზორიენტაციას.

**საკვანძო სიტყვები:** ავიაცია; ელექტრო-მაგნიტური ხელშეშლა (EMI); ინტერმოდულაცია; რადიონავიგაცია; ხელსაწყობით დაფრენის სისტემა (ILS); კურსიდან გადახრის მანიშნებელი (CDI); სხვაობა მოდულაციის სიღრმეებს შორის.

### სახელსაწყო დაფრენის სისტემის (ILS) მოკლე აღწერა

სახელსაწყო დაფრენის სისტემა (ILS) არის ზუსტი რადიოსანავიგაციო სისტემა, რომელიც მფრინავს ნებისმიერ მეტეოროლოგიურ პირობებში აწვდის ზუსტ სანავიგაციო ინფორმაციას, თუ სად იმყოფება საჰაერო ხომალდი ასაფრენ-დასაფრენ ზოლთან მიმართებაში. სახელსაწყო დაფრენის სისტემა აგზავნის სანავიგაციო ტონალურ სიგნალებს, რომლებსაც იღებს საჰაერო ხომალდზე განთავსებული რადიოსანავიგაციო მიმღები. ის ჯერ ახდენს შემოსული სიგნალების დემოდულაციას, იღებს 150 და 90 ჰერციან სანავიგაციო ტონალურ სიგნალებს და ახდენს მათ შედარებას. სისტემა წარმოქმნის ელექტრულ ძაბვას ამ შედარების საფუძველზე, რომელიც აკონტროლებს კურსიდან გადახრის მაჩვენებლის გადახრას, რომლითაც ხელმძღვანელობს მფრინავი. [1,2] მთავარი ფაქტორი, რომელიც განსაზღვრავს თვითმფრინავის პოზიციას ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ცენტრალურ ხაზთან მიმართებაში, არის მოდულაციის სიღრმეებს შორის სხვაობა (DDM). მოდულაციის სიღრმეებს შორის სხვაობა (DDM) წარმოადგენს განსხვავებას ორი

ტონალური სიგნალის (90 ჰც და 150 ჰც) მოდულაციის სიღრმეებში. როდესაც თვითმფრინავი იდეალურად არის გასწორებული ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ცენტრალურ ხაზთან, მოდულაციის სიღრმეებს შორის სხვაობა ნულის ტოლია. [3,4]. (სურ. 1).



სურ. 1 150 Hz და 90 Hz სანავიგაციო ტონალური სიგნალები იგზავნიან საკურსო რადიოშუქურის გადამცემიდან

### დაფრენის სისტემის საკურსო რადიო შუქურის კონცეპტუალური მოდელი

სახელსაწყო დაფრენის სისტემის გადამცემი იყენებს ამპლიტუდური მოდულაციის DSB-SC (სიგნალი ორმაგი გვერდითი ზოლით და ჩახშობილი გადამტანით) მეთოდს, CSB (გვერდითი ზოლები და გადამტანი) და SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალების გამოყენებით. გადამცემიდან გაგზავნილ სიგნალს იღებს საჰაერო ხომალდის რადიოსანავიგაციო მიმღები.

CSB-ს (გადამტანი-გვერდითი ზოლით) და SBO-ს (მხოლოდ გვერდითი ზოლი) მოდულაციის განმარტება სახელსაწყო დაფრენის სისტემაში (ILS).

ხელსაწყო დაფრენის სისტემა (ILS) იყენებს CSB (გადამტანი და გვერდითი ზოლები) და SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) ტექნიკას. CSB (გადამტანი და გვერდითი ზოლები) სიგნალი არის ამპლიტუდურად მოდულირებული სიგნალი, რომელიც შედგება 90 და 150 ჰერციანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალებისგან. ეს ტონალური სიგნალები ნაწილდებიან ასაფრენ-დასაფრენი ზოლის ცენტრის ორივე მხარეს და სწორედ მათი მოდულაციის სიღრმეებს შორის სხვაობით, განისაზღვრება საჰაერო ხომალდის მდებარეობა ასაფრენ-დასაფრენ ბილიკთან მიმართებაში. CSB (სიგნალი გადამტანით და გვერდითი ზოლებით) მათემატიკურად გამოისახება როგორც:

$$S_{CSB}(t) = A_c [1 + m_1 \cos(2\pi f_{90}t) + m_2 \cos(2\pi f_{150}t)] \cos(2\pi f_c t), \quad (1)$$

სადაც:

$A_c$  არის გადამტანი სიგნალის ამპლიტუდა;

$m_1$  და  $m_2$  არიან ამ ორი მამოდულირებული სიგნალის მოდულაციის სიღრმეები;

$f_{90}$  და  $f_{150}$  არიან მამოდულირებელი სიგნალების სიხშირეები;  
 $f_c$  არის გადამტანი სიგნალის სიხშირე.

სიგნალი მხოლოდ გვერდითი ზოლებით (SBO) არის სიგნალი, სადაც სანავიგაციო ტონალური სიგნალები მოდულაციისას იყენებენ მხოლოდ გვერდითი ზოლებს, ხოლო გადამტანი არის ჩახშობილი. მათემატიკურად გამოისახება როგორც:

$$S_{SBO}(t) = A_s[m_1 \cos(2\pi f_{90}t) + m_2 \cos(2\pi f_{150}t)] \cos(2\pi f_c t), \quad (2)$$

სადაც:

$A_s$  არის გვერდითი ზოლების ამპლიტუდა;  
 $m_1$  და  $m_2$  არიან მამოდულირებელი სიგნალების მოდულაციის სიღრმეები;  
 $f_{90}$  და  $f_{150}$  არიან მამოდულირებელი სიგნალების სიხშირეები;  
 $f_c$  არის გადამტანი სიგნალის სიხშირე.

### კომბინირებული სიგნალი (CSB + SBO):

კომბინირებული სიგნალი, რომელიც მიიღება საბორტო მიმღების მიერ, არის CSB (გადამტანი და გვერდითი ზოლები) და SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალების ჯამი:

$$s_{total}(t) = s_{CSB}(t) + s_{SBO}(t) \\ s_{total}(t) = [(A_{CSB1} + A_{SBO1}) \cos(2\pi \cdot 90t) + (A_{CSB2} + A_{SBO2}) \cos(2\pi \cdot 150t)] \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad (3)$$

საკურსო რადიოშუქურის ცენტრალურ ხაზზე ვრცელდება მხოლოდ CSB (გადამტანით და გვერდითი ზოლებით) სიგნალი, სადაც 150 და 90 ჰერციან სანავიგაციო ტონალურ სიგნალებს აქვთ თანაბარი ენერჯია, და კურსიდან გადახრის მაჩვენებელიც, თუ იღებს მხოლოდ ამ სიგნალებს, ასევე თანაბარი ენერჯიით არის გაცენტრებული.

SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალში სანავიგაციო ტონალური სიგნალები ერთმანეთის მიმართ არიან საპირისპირო ფაზაში: მარჯვენა მხარეს 150 ჰც იანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალი და CSB სიგნალის 150 ჰერციან სანავიგაციო ტონალურ სიგნალები არიან ფაზაში, ამიტომ ისინი დაჯამდებიან და ამ მხარეს დარჩება უფრო ძლიერი 150 ჰერციანი სიგნალი, ხოლო 90 ჰერციან სიგნალებს ექნებათ საპირისპირო ფაზურობა. მეორე მხარეს კი 150 ჰერციან სანავიგაციო ტონალურ სიგნალებს ექნებათ საპირისპირო ფაზურობა, ხოლო 90 ჰერციანი სიგნალები იქნებიან ფაზაში.

### ჯამისა და სხვაობის ტექნიკა

მიმღები მდებარეობის განსაზღვრისათვის იყენებს ჯამისა და სხვაობის ტექნიკას. F1 და F2 არიან 150 და 90 ჰერციანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალების მნიშვნელობები. m და n არიან ფაქტორები, რომლებიც დამოკიდებულნი არიან გადამცემის სიმძლავრეზე და ანტენის მომეტებაზე, ჩვენ შეგვიძლია ჩავწეროთ სიგნალები შემდეგნაირად: CSB=m(f1+f2) და SBO=n(f1-f2), სანამ f1 იქნება უფრო დიდი ვიდრე f2, 90 ჰერციანი სიგნალი იქნება უფრო ძლიერი ამ წერტილში.

$$CSB = m(f1 + f2)SBO = n(f1 - f2)$$

დაჯამებისას

$$\begin{aligned} CSBB + SBO &= m(f_1 + f_2) + n(f_1 - f_2) \\ CSBB + SBO &= mf_1 + mf_2 + nf_1 - nf_2 \\ CSBB + SBO &= (m + n)f_1 + (m - n)f_2 \end{aligned}$$

$$f_1 \text{ არის უფრო ძლიერი} \quad f_1 > f_2. \quad (5)$$

სხვაობის შემთხვევაში,  $f_1 < f_2$  -ზე, რაც ნიშნავს, რომ ცენტრალური ხაზის მარჯვენა მხარეს დომინირებს 150 ჰერციანი სიგნალი.

$$CSB = m(f_1 + f_2) \quad SBO = n(f_1 - f_2)$$

გამოკლებისას

$$\begin{aligned} CSB - SBO &= m(f_1 + f_2) - n(f_1 - f_2) \\ CSB - SBO &= mf_1 + mf_2 - nf_1 + nf_2 \\ CSB - SBO &= (m - n)f_1 + (m + n)f_2 \end{aligned}$$

$$f_1 < f_2 \quad f_2 \text{ არის უფრო ძლიერი} \quad (6)$$

საკურსო რადიო შუქურის შემთხვევაში, ცენტრალური ხაზის მარცხნივ (ქვემოთ) 90 ჰერციანი სიგნალი იქნება უფრო ძლიერი, ხოლო მარცხნივ (ზემოთ) 150 ჰერციანი სიგნალი.

სცენარები

მოდულაციის სიღრმებს შორის სხვაობა ანგარიშდება 90 და 150 ჰერციანი სანავიგაციო სიგნალების მოდულაციის სიღრმის გამოყენებით შემდეგი ფორმულით:

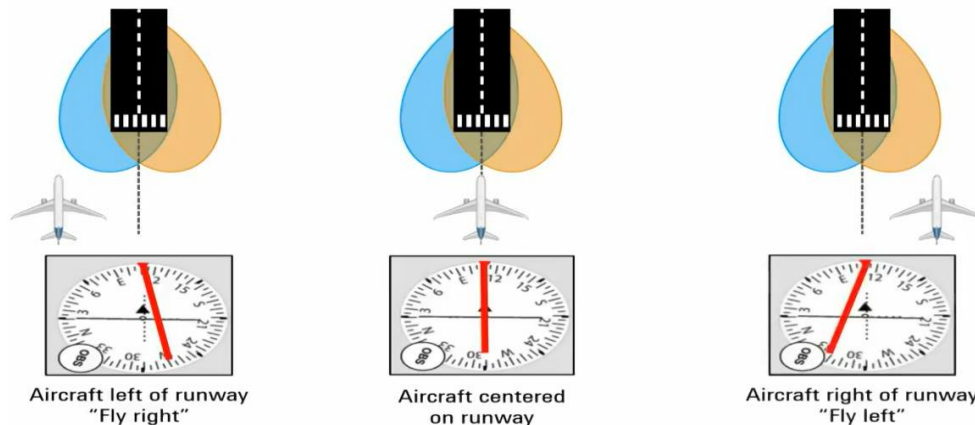
$$DDM = \frac{U_{90 \text{ Hz}} - U_{150 \text{ Hz}}}{U_{90 \text{ Hz}} + U_{150 \text{ Hz}}} \quad (7)$$

როდესაც  $DDM \neq 0$  :

$DDM \neq 0$  საჰაერო ხომალდი არ იმყოფება ცენტრალურ ხაზზე.

თუ  $DDM > 0$ , 90 ჰერციანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალი უფრო ძლიერია, და იმყოფება ა.დ.ზ -ის მარცხნივ.

If  $DDM < 0$ , 150 ჰერციანი სანავიგაციო ტონალური სიგნალი უფრო ძლიერია, და იმყოფება ა.დ.ზ -ის მარჯვნივ. (სურ. 2).



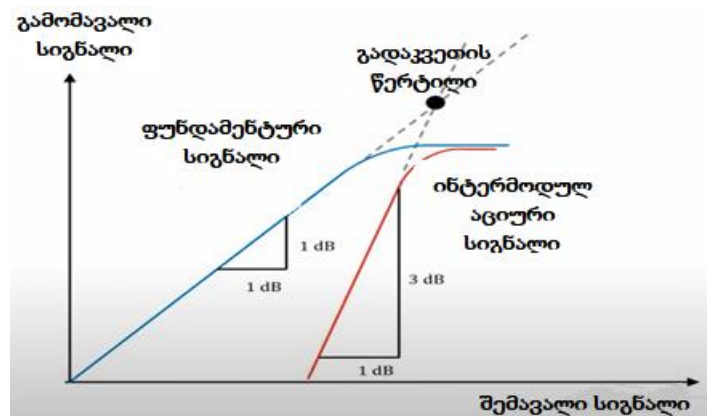
სურ. 2 მფრინავისთვის მიწოდებული სანავიგაციო ინფორმაცია კურსიდან გადახრის მაჩვენებლით

ინტერმოდულაციური დამახინჯება საჰაერო ხომალდის რადიოსანავიგაციო მიმღებში

ინტერმოდულაციური დამახინჯება (IMD) არის ხელშემშლის ერთ-ერთი ფორმა, რომელიც წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც სხვადასხვა სიხშირის სიგნალები ერევა მიმღებში და იწვევს მიმღების არაწრფივ მუშაობას, რის შედეგადაც ჩნდება არასასურველი სიგნალები ახალ, ხშირად გაუთვალისწინებელ სიხშირეებზე. საავიაციო მიმღებში, ინტერმოდულაციური დამახინჯება შეიძლება გამოიწვევოს იყოს საავიაციო დიაპაზონის გარეთ არსებული სიგნალებით, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს საჰაერო ხომალდის რადიოსანავიგაციო მიმღების არაწრფივი მუშაობა ამ ტიპის ხელშემშლის წარმოქმნისთვის, აუცილებელია ორი ან მეტი სამაუწყებლო სიგნალის არსებობა ასევე ამ სიგნალებს უნდა ჰქონდეთ გარკვეული სიხშირული კავშირი რათა წარმოქმნას ინტერმოდულაციური სიგნალები სანავიგაციო მიმღების სიხშირულ არხში. ერთ-ერთი სიგნალი უნდა იყოს საკმარისად დიდი ამპლიტუდის, რათა მიმღები გადაიყვანოს არაწრფივ გარემოში, თუმცა ჩარევა შეიძლება მოხდეს მაშინაც, თუ სიგნალს მნიშვნელოვნად დაბალი ამპლიტუდის იქნება. [6,7]. სახელსაწყო დაფრენის სისტემის მიმღებისთვის მთავარი პრობლემა არის მესამე რიგის ინტერმოდულაციური დამახინჯება, რადგან მესამე რიგის ინტერმოდულაციური პროდუქტი არის ძალიან ახლოს საკურსო რადიო შუქურის სიგნალთან და მიმღებისთვის რთულია ფილტრაციის შესრულება.

მესამე რიგის ინტერმოდულაციური დამახინჯება (IMD).

მესამე რიგის ინტერმოდულაციური სიგნალები განსაკუთრებით პრობლემურია, რადგან მისი პროდუქტები უფრო სწრაფი ტემპით იზრდება შემავალ სასურველ სიგნალებთან შედარებით. კერძოდ, თუ სასურველი შემავალი სიგნალი გაიზარდება 1 დბ-ით, მესამე რიგის არასასურველი პროდუქტები გაიზარდება 3 დბ-ით.



სურ. 3. ფუნდამენტური სიგნალის 1dB-ით გაზრდა იწვევს არასასურველი ინტერმოდულაციური სიგნალის ამპლიტუდის 3dB-ით გაზრდას.

ეს მახასიათებელი ხდის მას ჩარევის მნიშვნელოვან წყაროს საბორტო რადიოსანავიგაციო მიმღებებისთვის. მაგალითად, თუ ორი VHF რადიო გადამცემი მუშაობს მიმდებარე სიხშირეებზე, მათი ზემოქმედებით შექმნილი მესამე რიგის პროდუქტი შეიძლება მოხვდეს სახელსაწყო დაფრენის სისტემის სიხშირის დიაპაზონში. ამ ტიპის ხელშეშლამ შეიძლება გამოიწვიოს სახელსაწყო დაფრენის სისტემის რადიო მიმღების არასწორი ფუნქციონირება და მფრინავისთვის შესაბამისად არასწორი სანავიგაციო მითითებების მიწოდება [6, 7, 8, 9].

$$f_{IMD3} = 2f_1 - f_2 \text{ და } f_{IMD3} = 2f_2 - f_1 \quad (8)$$

სადაც:  $f_1$  და  $f_2$  არიან ორი შემავალი სიგნალის სიხშირეები.

მესამე რიგის ინტერმოდულაციის პროდუქტის სიმძლავრე შეიძლება გამოიხატოს როგორც:

$$P_{IMD3} = P_{in} - 2 \cdot (IP3 - P_{in}) \quad (9)$$

$P_{IMD3}$ - არის მესამე რიგის ინტერმოდულაციური პროდუქტის სიმძლავრე და  $P_{in}$ - ფუნდამენტური სასურველი სიგნალის სიმძლავრე.

### CSB და SBO სიგნალებზე ინტერმოდულაციური დამახინჯების ეფექტის ზემოქმედების ანალიტიკური აღწერა

ზემოქმედება CSB სიგნალებზე: როდესაც ინტერმოდულაციური დამახინჯების (IMD) პროდუქტი, რომელიც წარმოქმნილია ახლომდებარე VHF გადამცემიდან, რომელიც განთავსებულია სახელსაწყო დაფრენის სისტემის გადამტანი სიხშირის მახლობლად (დაახლოებით 108,1 MHz), მას შეუძლია შეაფერხოს ამპლიტუდურად მოდულირებული CSB (გადამტანი და გვერდითი ზოლი) სიგნალი. ამ შემთხვევაში მას შეუძლია გამოიწვიოს არასწორი სანავიგაციო ინფორმაცია და სიგნალის ხარისხის დაქვეითება, რაც მიმღებში ართულებს ან შეუძლებელს ხდის 150 და 90 ჰერციანი სიგნალების აღმოჩენას და ამოღებას. თუ IMD პროდუქტი გამოჩნდება 109 MHz-თან ახლოს, მას შეუძლია შემოიტანოს არასასურველი ხმაური ან ტონები,

რომლებიც არღვევს AM დემოდულაციის პროცესს, რის შედეგადაც თვითმფრინავის მიმღები ვერ უზრუნველყოფს ტონალური სანავიგაციო სიგნალების სწორ დემოდულაციას და შეცდომით დაამუშავებს და მიაწვდის მფრინავს სანავიგაციო ინფორმაციას. CSB სიგნალისთვის, მათემატიკურად ინტერმოდულაციური დამახინჯება შეიძლება დაიწეროს როგორც:

$$S_{CSB}(t) = (A_c + \varepsilon' \cos(2\pi f_{IMD}t))[1 + m_1 \cos(2\pi f_{90}t) + m_2 \cos(2\pi f_{150}t)] \cos(2\pi f_c t), \quad (10)$$

სადაც:

1.  $(\varepsilon')$  ეფსილონი არის ინტერმოდულაციური სიგნალის  $f_{IMD}$  ამპლიტუდა, რომელიც ამახინჯებს 90 და 150 ჰერციან სანავიგაციო ტონებს ;
2.  $A_c$ : არის გადამტანი სიგნალის ამპლიტუდა;
3.  $f_{IMD}$ : ინტერმოდულაციური სიგნალის სიხშირე;
4.  $m_1$  and  $m_2$ : არიან  $f_{90}$  და  $f_{150}$ . ჰერციანი სანავიგაციო სიგნალების მოდულაციის სიღრმეები;
5.  $f_c$ : არის გადამტანი სიგნალის სიხშირე.

**ინტერმოდულაციური ზემოქმედება SBO (DSB-SC) სიგნალზე**- SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალი არის უფრო სუსტი ამ ხელშეშლის მიმართ რადგან ჩახშობილია გადამტანი სიხშირე. ნებისმიერმა ინტერმოდულაციურმა პროდუქტმა რომელიც განთავსდება, რომელიც განთავსდება გვერდითი ზოლის სიხშირეებთან ახლოს, შეიძლება გამოიწვიოს ხმაური ან დამახინჯება 90 ჰც/150 ჰც სიგნალების გვერდითა ზოლებში და დაარღვიოს ამ სიგნალებს შორის ამპლიტუდური ბალანსი, რაც გამოიწვევს მიმღების არასწორ ფუნქციონირებასან [10].

SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები)-თვის ინტერმოდულაციური დამახინჯება აღიწერება როგორც:

$$S_{SBO}(t) = (A_s + \varepsilon' \cos(2\pi f_{IMD}t))[m_1 \cos(2\pi f_{90}t) + m_2 \cos(2\pi f_{150}t)] \cos(2\pi f_c t), \quad (11)$$

სადაც:

1.  $\varepsilon'$  სადაც ეფსილონი არის ინტერმოდულაციური სიგნალის ამპლიტუდა SBO (მხოლოდ გვერდითი ზოლები) სიგნალში. რადგან SBO სიგნალს აქვს გადამტანი სიხშირე აქვს ჩახშობილი, IMD პირდაპირ გავლენას ახდენს სანავიგაციო ტონალური სიგნალების მოდულაციის სიღრმეების ბალანსზე 90 Hz და 150 Hz ტონებს შორის, რაც ამახინჯებს სივრცით მოდულაციას;
2.  $A_s$ : (მხოლოდ გვერდითი ზოლებით) სიგნალის ამპლიტუდა;
3.  $m_1 \cos(2\pi f_{90}t)$ : წარმოადგენს 90 ჰერციან მამოდულირებელ სიგნალს;
4.  $m_2 \cos(2\pi f_{150}t)$ : წარმოადგენს 150 ჰერციან მამოდულირებელ სიგნალს;
5.  $f_c$  : გადამტანი სიხშირე საკურსო რადიო მუქურისთვის 108.1 MHz - 111.95 MHz სიხშირულ დიაპაზონში.

## ფაზის და ამპლიტუდის დამახინჯება ინტერმოდულაციური სიგნალის ზემოქმედების შედეგად

თუ IMD პროდუქტი ცვლის 90 ჰც და 150 ჰც სანავიგაციო ტონების ფაზას, ჩვენ შეგვიძლია გამოვსახოთ მთლიანი სიგნალი, როგორც:

$$S_{IMD}(t) = S_{CSB}(t) + S_{SBO}(t), \quad (12)$$

სადაც ფაზაზე და ამპლიტუდაზე ზემოქმედებით აქვს უარყოფითი ეფექტი ამ ორი სანავიგაციო ტონალური სიგნალების შეკრებისა და სხვაობის დროს.

**ფაზაში მყოფი კომპონენტები** (ცენტრალური ხაზის მარჯვენა მხარეს) გავლენას განიცდიან ინტერმოდულაციური პროდუქტებიდან, და თუ ეს არასასურველი ტონები ფაზის გადაადგილებას გამოიწვევენ, ამან შეიძლება გამოიწვიოს არასწორი დამატებითი (საჭიროზე მეტი) მოდულაცია, რაც გამოიწვევს კურსიდან გადახრის მაჩვენებლის არასწორ ჩვენებებს.

**ფაზაში წანაცვლებული კომპონენტები** (ცენტრალური ხაზის მარცხენა მხარეს) ფაზის არასწორი გადაწვლილება გამოიწვევს არასწორ სანავიგაციო მითითებებზე კურსიდან გადახრის მაჩვენებელზე, რადგან სანავიგაციო ტონალური სიგნალები ცენტრალური ხაზის კონკრეტულ მხარეს ემატებიან იქ, სადაც სიგნალები არიან ფაზაში, და უქმდებიან იქ, სადაც აქვთ საპირისპირო ფაზურობა ინტერმოდულაციური სიგნალის ზემოქმედების შედეგად. თუ მოხდება სანავიგაციო 150 და 90 ჰერციანი სიგნალების ფაზაში გადაადგილება, ეს გამოიწვევს შეცდომებს ჯამისა და სხვაობის შესრულებისას, ასევე შეიძლება არ მოხდეს სიგნალის სწორად გაუქმება იქ, სადაც მათ აქვთ საპირისპირო ფაზა. ამ შემთხვევაში საკურსო რადიო შუქურის სანავიგაციო მითითებები მიმღების მიერ აღიქმება შეცდომით და გამოიწვევს კურსიდან გადახრის მაჩვენებლის არასწორ ჩვენებას. პრაქტიკაში ინტერმოდულაციურ დამახინჯებას რადიოსანავიგაციო მიმღებში შეუძლია გამოიწვიოს:

1. ყალბი გადახრის მითითება ა.დ.ზ -ს მიმართ: თვითმფრინავმა შეიძლება მიიღოს არასწორი სიგნალები, რაც პილოტს აფიქრებინებს, რომ იგი ცენტრალური ხაზის მარცხნივ ან მარჯვნივ იმყოფება, მაშინ, როდესაც ეს ასე არ არის.

2. გამაფრთხილებელი ალმის გააქტიურება:\*\* მიმღებმა შეიძლება გამოიწვიოს გამაფრთხილებელი ალმის გააქტიურება და სიგნალის სრული დაკარგვა, მაშინაც კი, როდესაც გადამცემიდან გამოგზავნილი სიგნალი სწორი და მკაფიოა.

### დასკვნა

კვლევა უზრუნველყოფს ელექტრომაგნიტური ხელშეშლის, მათ შორის ინტერმოდულაციური სიგნალის ზემოქმედების შეფასებას აერონავტიკული სიხშირის სპექტრში. დატვირთულ აეროპორტებში, სხვადასხვა მაღალი სიმძლავრის გადამცემებმა შეიძლება გამოიწვიოს ინტერმოდულაციური დამახინჯება მრავალი წყაროდან, რაც შესაძლოა გახდეს მიზეზი თვითმფრინავის ორიენტაციის არევის მისი დაფრენის განხორციელებისას



დასაფრენ ზოლთან მიმართებაში. ეს მიდგომა გვეხმარება იმის დადგენაში, თუ რამდენად კარგად შეუძლია სანავიგაციო სისტემას გაუმკლავდეს ყალბ სიგნალებს. საიდანაც მაღალი სიმძლავრის გადამცემებმა შეიძლება გამოიწვიოს ინტერმოდულაციური დამახინჯება.

### მადლიერება:

კვლევა დაფინანსებულია საქართველოს შოთა რუსთაველის სახელობის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ (SRNSFG) [PHDF-22-3447].

### გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] - Boeing. (2022) Statistical summary of commercial jet airplanes: 10- 14. Pp;
- [2] - Zhang X., Luo Z., & Kang G. (2022) Analysis and research on the interference of civil aviation radio navigation equipment. Journal of Physics, 7:. 2-4. Pp;
- [3] - International Telecommunication Union (1995) Compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-137 MHz (Rec. ITU-R SM.1009-1). ITU: 5-14. Pp;
- [4] - Sathaye H. Schepers D., Ranganathan A. & Noubir G. (2019) Wireless Attacks on Aircraft Instrument Landing Systems. In 28th USENIX Security Symposium (USENIX Security 19), August 2019, Santa Clara, CA. USENIX Association. ISBN: 978-1-939133-06-9: 4-7. Pp;
- [5] - McCollum D. M. (1983) Evaluation of instrument landing system DDM calibration accuracies. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Air Force Institute of Technology: 1-126. Pp;
- [6] - International Telecommunication Union (1995) Test procedures for measuring aeronautical receiver characteristics used for determining compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-118 MHz (Rec. ITU-R SM.1140-0). ITU: 1-16. Pp;
- [7] - International Civil Aviation Organization (ICAO) (2008) Assessment of potential interference from FM broadcasting stations into aeronautical VDL Mode 4 systems in the band 112-117.975 MHz. In Aeronautical Communications Panel (ACP) Nineteenth Meeting of Working Group F, Montreal, Canada: 2-13. Pp;
- [8] - Iliev T. B., Stoyanov I. S., Mihaylov G. Y., & Ivanova E. P. (2021). Study the influence of intermodulation products on navigation signals. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1032, 012013: 2-4. Pp;
- [9] - Kortua T., Kutchukhidze R. (2022). Classification of electromagnetic interference impact on VOR, ILS, and GBAS radio navigation systems operating in the VHF band. International Scientific Journal “Airtransport”, 1(16): 2-5. Pp;
- [10] - Leuchter J., & Bloudicek R. (2021). Influence of aircraft power electronics processing on backup VHF radio systems. Electronics, 27: 9-14. Pp.

## **Study of the Impact of Intermodulation Signals Generated by FM Radio Broadcasting Services (87.5-108 MHz) on the Aeronautical ILS Radio Navigation Receivers of Aircraft.**

T. Kortua<sup>1</sup>, Ramin Kutchukhidze<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Georgian Aviation University

Tbilisi, Ketevan Dedoplis Avenue № 16, 0103 Georgia

### **Abstract**

Our research is based on test procedures for measuring the characteristics of aviation receivers used to identify intermodulation distortion generated by broadcast radio transmitters in the frequency range of 87-108 MHz. These distortions create electromagnetic interference that affects aeronautical services operating in the 108-118 MHz radio frequency band. The study analyzes how electromagnetic interference from various sources, including FM broadcast radio services, impacts these systems. This interference generates intermodulation products in the ILS (108–112 MHz) frequency band in the form of third-order intermodulation distortion, which may produce a false deflection signal in navigation receivers within this frequency range. Under such circumstances, the aircraft may receive incorrect guidance signals, leading the pilot to believe that the aircraft is positioned either left or right of the runway centerline. Receiving signals of this category could erroneously indicate a course deviation or result in a complete loss of signal, causing disorientation of the aircraft relative to the runway.